

TARTU ÜLIKOOL

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Tehnoloogiainstituut

Taavi Adamson

NUTISEADME HELIPESSA ÜHENDUV VARIOMEETER

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendaja: BSc Artur Abels

Tartu 2016

Resümee/Abstract

Nutiseadme helipessa ühenduv variomeeter

Töö eesmärgiks oli välja töötada nutiseadme helipessa ühenduv variomeeter, mida kasutada hobilendudel. Lisaks arendati selle kasutamiseks vajalik Android operatsioonisüsteemi rakendus.

Variomeetri arendamisel loodi töötav lahendus nii seadme toitmiseks kui suhtluseks läbi helipesa. Lisaks uuriti erinevate nutiseadmete helisüsteemi võimalusi ning eripärasid.

CERCS: T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia; T121 Signaalitöötlus; T170 Elektroonika; [1]

Märksõnad: nutiseadmed, hobilendamine, Android, elektroonika.

Variometer for smart device using audio jack connection

The purpose of this work was to design a variometer that could be connected to a smart device audio jack. Additionally, during the course of the work an Android control application for it was developed.

Solution for powering and communicating via audio jack was developed. Also, research was conducted on smart device sound system capabilities and properties.

CERCS: T120 Systems engineering, computer technology; T121 Signal processing; T170 Electronics; [1]

Märksõnad: smart devices, hobby flying, Android, electronics.

Sisukord

Resümee/Abstract.....	2
Tähised, lühendid ja definitsioonid	5
1. Sissejuhatus	6
2. Valdkonna ülevaade	7
2.1. Turul olevad variomeetrid	7
2.1.1 FlyNet.....	7
2.1.2 FlyTec.....	7
2.1.3 BlueFlyVario	8
2.2. Muud turul olevad helipessa ühenduvad seadmed	8
2.2.1 Windoo	8
2.2.2 Pressy	8
3. Töö ülevaade	9
4. Nõuded	11
4.1. Kasutatavusest lähtuvad nõuded.....	11
4.2. Spetsifikatsioonist lähtuvad nõuded	11
5. Elektroonika	13
5.1. Ülevaade	13
5.2. Toitesüsteem	13
5.2.1 Nutiseadme helikanali väljundvõimsuse hindamine	14
5.2.2 Trafo valik	15
5.2.3 Pinge alaldamine, silumine ja reguleerimine	17
5.3. Kõrguse mõõtmine	18
5.4. Mikrokontroller	19
5.5. Pulkpistiku liides	19
5.6. Trükkplaadi disain	20
6. Püsivara	21
6.1. Ülevaade	21
6.2. Suhtlusliidesed.....	21
6.2.1 Suhtlus rõhuanduriga.....	21
6.2.2 Suhtlus nutiseadmega	21
7. Protokoll.....	22
7.1. Saadetak signaal	22
7.2. Lugemite võtmine.....	22
7.3. Signaali dekodeerimine	23
7.3.1 Signaalitöötlus	23

7.3.2	Pulsi detekteerimine	24
7.4.	Paketi struktuur.....	25
8.	Android operatsioonisüsteemi jaoks loodud rakendus	27
8.1.	Ülevaade	27
8.2.	Seadme toitesignaali genereerimine	28
8.3.	Andmetöötlus.....	28
8.4.	Kasutajaliides.....	29
8.4.1	Visuaalne kuva	29
8.4.2	Helimärguanded	31
	Kokkuvõte	32
	Summary	33
	Kasutatud materjalid	34
9.	Lisad	37
	Lisa 1 – Elektriskeem.....	37
	Lisa 2 – Trükkplaadi disain	38
	Lisa 3 – Katsetatud nutitelefonide tabel	39
	Lisa 4 – Nutitelefonide väljundvõimsuse sõltuvus koormusest	39

Tähised, lühendid ja definitsioonid

Bluetooth – 1998. a. Ericssoni, Inteli, Nokia ja Toshiba koostöös välja töötatud mobiilside spetsifikatsioon. [2].

GPS (ingl Global Positioning System) – süsteem, mis võimaldab määrata asukohta Maa pinnal mitme satelliidi raadiosignaali võrdlemise teel [2].

USB (ingl Universal Serial Bus) – universaalne järjestiksin, levinud välissiini standard [2].

I²C – Kahesuunaline kahesooneline järjestiksin, mida kasutatakse intergraalskeemidevahelise ühenduslülina [2].

UART (ingl Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) – Programmeeritud mikrokiip, mis juhib arvutit ja välisseadmeid ühendavat jadaliidest [2].

IrDA (ingl Infrared Data Association) – Infrapuna-andmeside Assotsiatsioon, 1993. aastal asutatud organisatsioon, mille ülesandeks on välja töötada infrapuna-andmesideliidestele vajalikku riist- ja tarkvara ning ette valmistada vastavaid standardeid. Lisaks viitab antud lühend standardile vastavale protokollile [2].

IDE (ingl Integrated Development Environment) – Integreeritud programmeerimiskeskond - programmeerimiskeskond, mis on rakendustarkvarasse sisse ehitatud. Harilikult koosneb integreeritud programmeerimiskeskond lähtekoodi redaktorist, kompilaatorist või interpretaatorist või mõlemast ning programmeerimise automatiseerimise abivahenditest [2].

AHJ (ingl American Headset Jack) – 4-kontaktilise helipistiku standard, kus mikrofoni kontakt on kõige äärmine ja maandus sellest järgmine, ülejäänud kahte kasutatakse heli mängimiseks [3].

OMTP(ingl Open Mobile Terminal Platform) – 4-kontaktilise helipistiku standard, kus maanduse kontakt on kõige äärmine ja mikrofoni sellest järgmine [3].

Pooltoon – vähim vahe kahe erineva noodi vahel [4].

CPU (ingl Central Processing Unit) – kesktötlusseade, keskprotsessor [2].

IIR filter (ingl Infinite Impulse Response) – levinud filtritüüp, mille peamiseks iseloomustavaks aspektiks on filtreerimisel tagasiside kasutamine [5].

Actor – eesti keeles näitleja, tegija. Tähistab programmis omaette lõimes töötavat iseseisvat objekti.

1. Sissejuhatus

Tänapäeval on tõusvaks trendiks hobilendamine, milleks kasutatakse tavalistest lennukitest palju lihtsamaid ja vähemvarustatud õhusõidukeid nagu näiteks tiibvari, motovari või paraplaan [6]. Neil üldjuhul pole sisseehitatud mõõteseadmeid oma lennu jälgimiseks. Eriti oluline on mõõteseadmete poolt pakutav info mootorita tiibvarjuga lendajatele, kes saavad algselt õhku autoga vintsides, kuid peavad pärast seda leidma tõusvaid õhuvoole saavutamaks pikemat lendu [7]. Kõige tähtsam info lenduri jaoks on vertikaalne kiirus, mille mõõtmiseks kasutatakse variomeetrit.

Variomeeter annab lendurile kriitilise tähtsusega teavet lennu kulgemise kohta informeerides sellega kasutajat tõusu või languse kiirusest. Enamasti saadakse see arvutades hetkekõrgus mõõdetud õhurõhu kaudu. Variomeeter annab infot edasi kahel viisil – esiteks kuvades visuaalselt, näidates numbri ja/või osutiga vertikaalset kiirust ning teiseks andes märku vastavate helisignaalidega. Heliga variomeetrid aitavad kaasa lennuohutusele, kuna vähendavad vajadust jälgida seadme ekraani [8].

Paljud kasutatavatest variomeetritest on võrdlemisi kallid, alates mõnest sajast eurost kuni mõne tuhandeni ning neid müüakse eraldi seadmena [9]. See-eest omavad aga tänapäeval väga paljud inimesed nutitelefonid, mida niikuinii kaasas kantakse ning milles sisaldub kõik rõhuandmete töötlemiseks vajalik ning veel palju lisavõimalusi. Puudu on ainult täpne ja piisava sagedusega rõhu lugemine. Sellest lähtuvalt võib näha vajadust kordades odavamale ja väiksemale variomeetrile, mille eelduseks on nutiseadme eelnev olemasolu.

Töö eesmärgiks on välja töötada ja valmistada lennukõlbulik nutiseadme helipessa ühenduv variomeeter. Töö käigus sai valmis seadme elektroonika ja korpus, mikrokontrolleri püsivara ning Android operatsioonisüsteemile mõeldud tarkvara. Autori osa tööst oli leida etteantud eesmärki täitev lahendus ning see realiseerida.

2. Valdkonna ülevaade

Töö käigus arendatud variomeeter on mõeldud tootena müügiks lenduritele. Müügi edukuse määrab osaliselt turu seis: milliseid variomeetreid juba pakutakse, mis on nende pakutavad võimalused ja hind. Hetkel leidub müügil mitmeid erinevaid variomeetreid. Üldiselt saab neid liigitada eraldiseisvateks ja nutitelefoniga kasutatavateks seadmeteks.

Eraldiseisvatel variomeetritel on sisseehitatud ekraan, aku, kõlar ning muu tööks vajalik, mis teeb need kalliks, suureks ja tihti ebamugavaks. Samas on kõik need võimalused olemas tavalises tänapäevases nutiseadmes. Seega, lisades vaid vajalikud sensorid, võib väikese lisakulu ja suuruse juures saavutada kõige kallimate variomeetrite võimekuse.

Lisaseadmena toimivad variomeetrid saavad kasutada nutitelefoni või tahvelarvuti ekraani ja kõlarit, mis muudab need odavamaks ja väiksemaks. Samas, kuna infot vahendatakse Bluetooth andmeside abil, säilib endiselt vajadus sisemise aku järele, mida tuleb eraldi enne lendama asumist laadida. Selle vältimiseks saaks ühendada variomeetri otse nutiseadmega näiteks USB liidese või helipesa kaudu. Praegu turul niisuguseid variomeetreid müügil ei ole, kuid leidub muid helipesa kasutavaid seadmeid.

2.1. Turul olevad variomeetrid

2.1.1 FlyNet

Antud ettevõtte pakub kaht Bluetooth andmesidet kasutavat nutitelefonile või tahvelarvutile mõeldud lisaseadet: FlyNet 3 ja FlyNet XC, millest viimasel on olemas ka GPS. Seadmed maksavad vastavalt 189 € ja 279 € [10].

2.1.2 FlyTec

Firma tegeleb kõikvõimalike lennuakssessuaaride, kaasaarvated variomeetrite müügiga. Ettevõtte pakub erinevaid variomeetreid erinevate lisavõimalustega. Kõik seadmed uuendavad andmeid 5 korda sekundis, annavad infot edasi nii ekraanil kui läbi helisignaalide ja omavad võimalust oma lende logida. Kallimatel seadmetel on olemas ka GPS. Seadmete hinnad varieeruvad vahemikus 428 € kuni 1610 € [11].

2.1.3 BlueFlyVario

Tegemist on hobist välja kasvanud ettevõttega, mis pakub hetkel turul olevatest variomeetritest odavaimaid. Müügilolevate seadmete hinnavahe on 53 € kuni 64 €. Pakutavad seadmed eeldavad aga kasutajalt mõningal määral tehnilist võimekust [12].

2.2. Muud turul olevad helipessa ühenduvad seadmed

2.2.1 Windoo

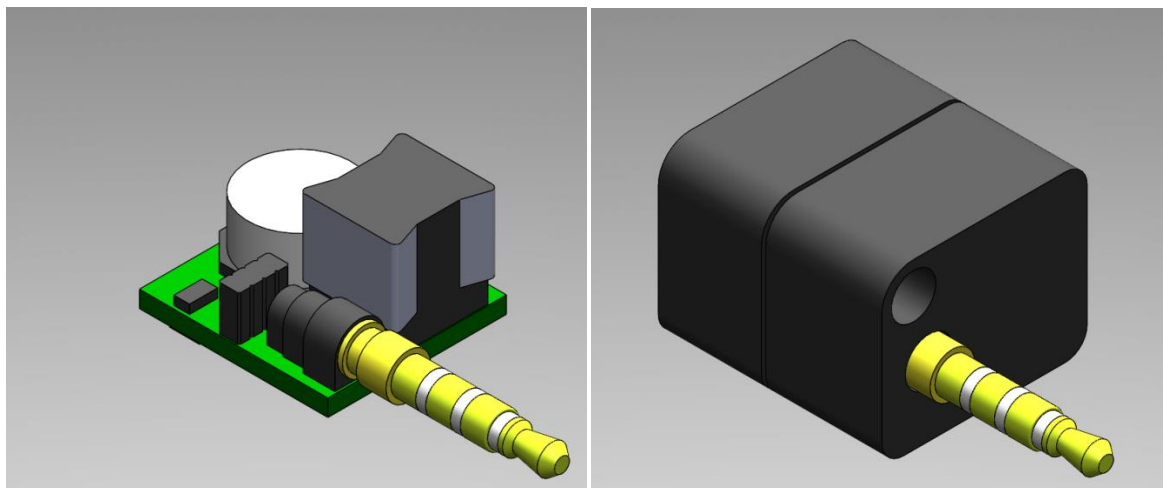
Windoo on helipessa ühendatav lisaseade, mille abil saab teada mitmesugust infot ümbritseva õhu ja hetkeilma kohta. Seadmel on võimekus mõõta õhurõhku ja –niiskust, temperatuuri ning tuule kiirust [13].

2.2.2 Pressy

Tegemist on helipessa ühendatava lisanupuga, millele saab allalaetava rakenduse abil anda mitmeid funktsioone [14].

3. Töö ülevaade

Töö käigus valminud variomeeter on kujutatud joonisel 1, kus on näha 3D kujutist elektroonikast ning korpusest.



Joonis 1. Seadme 3D mudel.

Seadme ülesehituse võib jagada viieks eraldi süsteemseks osaks, millest igaühel on oma eesmärk.

1. Elektroonika, mille eesmärgiks on mõõta välisrõhku ning võimaldada selle väärtuse edasiandmine nutiseadmele läbi ühendatud pulkpistiku. Lisaks tuleb kogu süsteemi toita läbi helipesa, kasutades nutiseadmete poolt pakutavaid võimalusi. Elektroonika alamsüsteem on kirjeldatud peatükis 5.
2. Püsivara, mis laetakse kasutatavasse mikrokontrollerisse ning mille eesmärgiks on initsialiseerida kõik elektroonika alamosa komponendid ning olla vahelülis informatsiooni edastamisel rõhuandurist nutitelefonile. Täpsema kirjelduse leiab peatükist 6.
3. Protokoll, mis kirjeldab, kuidas toimib suhtlus variomeetri ja nutiseadme vahel. Sellega määratakse ära saadetava signaali modulatsioon ning iga üksiku baidi ja paketi ülesehitus. Protokoll on kirjeldatud peatükis 7.
4. Android operatsioonisüsteemile mõeldud tarkvara, mille ülesandeks on helikanali kaudu saadud signaali dekodeerimine, saadud paketist andmete väljalugemine ning nende töötlemine. Lisaks tuleb saadud andmete põhjal mängida vastavaid helisignaale. Peale selle on vaja saata elektroonika alamsüsteemile sobiv toitesignaali. Tarkvara sisaldab ka kasutajaliidest, mis annab visuaalselt edasi töödeldud infot ning mille abil

saab lendur variomeetrit oma vajaduste järgi konfigureerida. Täpsema kirjelduse leiab peatükist 8.

5. Seadme korpus, mis kaitseb variomeetri elektroonikat väliste tegurite nagu tuule, veepritsmete ja tolmu eest.

Tööna valminud variomeetrit testiti mitmete parasjagu saadaolevate nutitelefonide peal, millede võrdlev tabel on toodud lisa 3.

4. Nõuded

Töö käigus valmiv seade peab olema lendamisel kasutatav, andes ajakohast ja täpset infot. See seab variomeetrile mitmeid nõudeid, mis on vajalikud nimetatud eesmärkide ja kasutatavuse saavutamiseks. Lisaks lähtuvad osad nõuded nutiseadmete sisemisest ülesehitusest ning eripäradest.

4.1. Kasutatavusest lähtuvad nõuded

Maksimaalne kasutusmugavuse ja kasulikkuse saavutamiseks, peab variomeeter vastama järgmistele nõutele:

- Variomeeter peab ühenduma nutiseadmega läbi helipesa. See võimaldab seadme kasutamist nii Apple kui ka teiste tootjate poolt pakutavate nutiseadmetega. Lisaks paikneb helipesa üldjuhul üla- või alaservas kus see ei põhjusta ebamugavust kõrvaklappide kasutamisel.
- Efektiivseks lendamiseks on vajalik võimalikult täpne ning ajakohane info. Selleks tuleb anduri lugemit uuendada vähemalt 20 korda sekundis ning vähendada süsteemis tekkivad ajakaod miinimumini.
- Variomeeter peab olema kasutatav ekraani jälgimata, dubleerides edastatavat infot helisignaalidega või mõnel muul meetodil.
- Variomeetri mõõtmised peavad olema piisavalt väikesed, et ühendatuna ei segaks ega põhjustaks ebamugavusi nutiseadme kinnitamisel lenduri põlvele.
- Variomeetril peab olema korpus, mis kaitseb sisalduvat elektroonikat välistegurite eest ning parandab seadme esteetilist väljanägemist.
- Kasutatud komponentide hind võiks olla nii madal kui funktsionaalsuse rahuldamisel võimalik, et säästa tootmiskulusid ning muuta toode lõpptarbija jaoks võimalikult odavaks.

4.2. Spetsifikatsioonist lähtuvad nõuded

Peamine raskuspunkt helipessa ühenduva variomeetri välja töötamisel oli fakt, et üldjuhul ei ole nutiseadmetel kaht eri võimendit helipesa ja kõlari jaoks, mis tähendab, et korraga neist erinevat signaali mängida pole võimalik. Samas on variomeetri jaoks vaja kasutada mõlemat: helipesa selleks, et anda toitepinget ning kõlarit, et teavitada lendurit tõusudest ja langustest. Välja töötatud lahenduses vahetatatakse helisignaali kõlarist ja toitepinge helipesast

mängimise vahel. Seega tekivad katked toitesignaali saatmises, mis omakorda vähendab väljundvõimsust tunduvalt. Järgnevalt on toodud nutiseadmete spetsifikatsioonist tulenevad nõuded:

- Loodav variomeeter peab oleva võimalikult väikese võimsustarbega, et arvestada nutiseadme helisüsteemi võimalustega ning säästa selle akut.
- Kasutatav protokoll peab jääma töökindlaks võimalikult paljudel erinevatel nutiseadmetel, arvestades nende eripäradega nagu seadmespetsiifilised häired signaalis ning helivõimendi inverteeritus. Protokolli töökindlus on kriitilise tähtsusega kasutatavuse tagamisel.

5. Elektroonika

5.1. Ülevaade

Elektroonilise lahenduse vaatepunktist on süsteemil kolm põhilist funktsiooni: rõhu mõõtmine, selle edastamine nutiseadmesse ja süsteemi toitmine läbi helipesa. Kõik nimetatud tuleb realiseerida kasutades nutiseadmete poolt pakutavaid võimalusi.

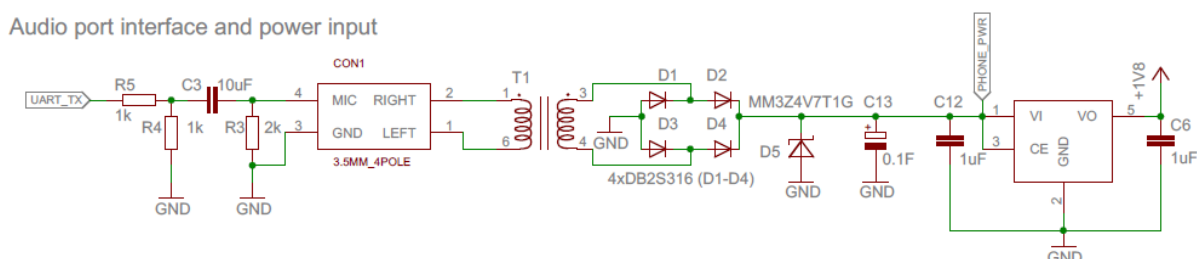
Kaks kesket komponenti elektroonika alamosas on rõhuandur, mille ülesandeks on mõõta välist õhurõhku, ja mikrokontroller saadud rõhulugemi töötlemiseks ning edastamiseks nutiseadmesse.

Rõhuanduri ja mikrokontrolleri toimimiseks töötati välja toitesüsteem, mis muudab nutiseadmest saadava signaali variomeetri elektroonikale sobivaks toitepingeks.

5.2. Toitesüsteem

Toitesüsteemi ülesandeks on muuta helipesast saadetak signaal seadme jaoks sobilikuks alalistoitepingeks ja tagada rakendusele vajalik minimaalne väljundvõimsus. Selleks tuleb arvestada teatud nutiseadmete helisüsteemi eripäradega. Esiteks, helipesa ei ole mõeldud seadmete toitmiseks vaid helisignaali väljastamiseks vahelduvpingena. Seega sisemiselt on helisüsteemi väljund filtreeritud ribafiltriga, mis teeb alalispinge väljastamise helipesast üldjuhul võimatuks. Teiseks leidub nutiseadmeid, mille helipesa poolt väljastatava pinge amplituud jääb alla 700 mV. See on liiga madal, et alaldatuna oleks see sobilik kasutamiseks laialt levinud komponentidega, mis üldjuhul vajavad tööks vähemalt 1,8 V pinget.

Joonisel 2 on kujutatud välja töötatud helikanali ühendus, millelt võib näha toitesüsteemi osa paremal pool pistikut (CON1).

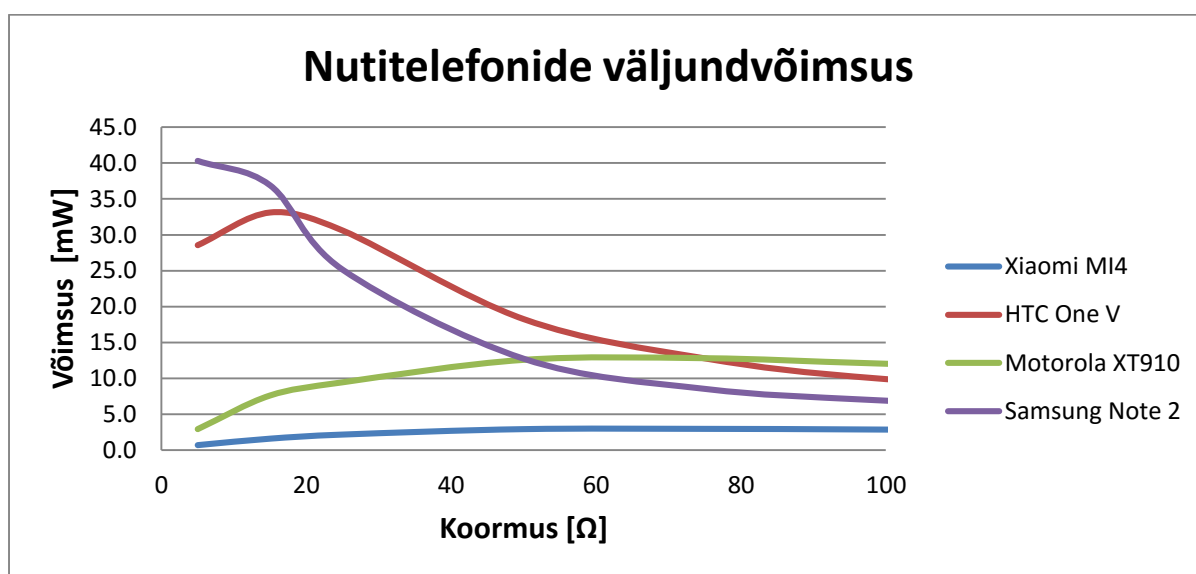


Joonis 2. Toitesüsteemi skeem.

Nutiseadme heliväljundi madal amplituud takistab kasutamast lülitusregulaatoreid, mis vajavad tööks üldjuhul vähemalt pinget suurusega 800 kuni 900 mV [15]. Seega kasutati antud töös pinget tõstmiseks transformaatorit ehk trafot. Tegemist on keskseima ning tähtsaima komponendiga, kuna selle korrektsest valikust sõltub kogu toitesüsteemi töö.

5.2.1 Nutiseadme helikanali väljundvõimsuse hindamine

Töös viidi läbi katsed saamaks hinnangut nutiseadmete väljundvõimsuse ning seda mõjutavate parameetrite kohta. Tulemused on toodud alljärgnevalt.



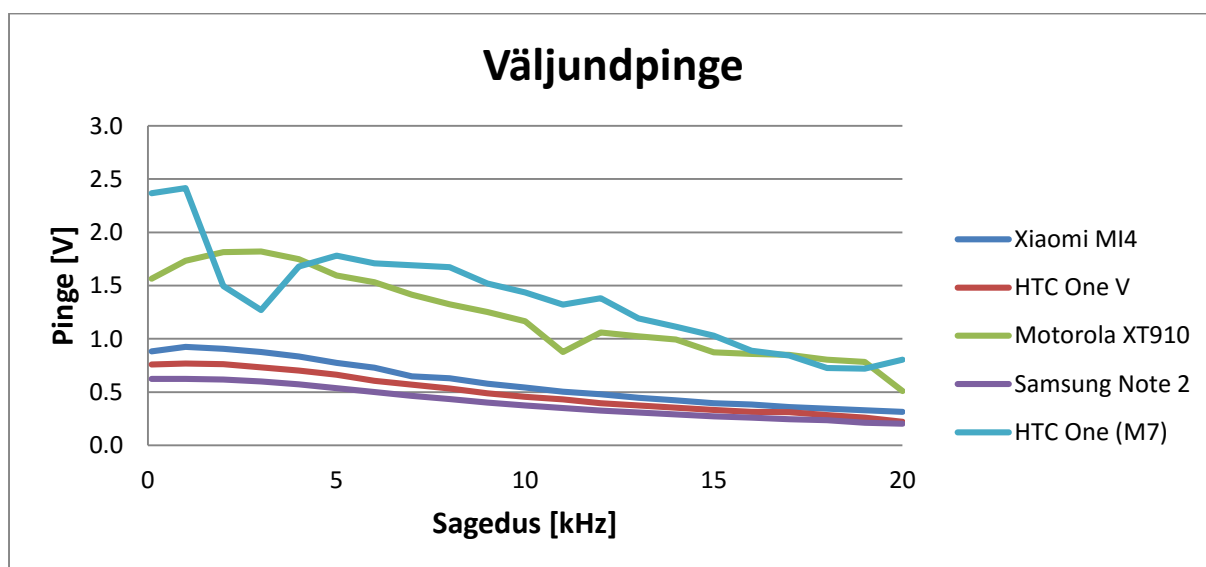
Joonis 3. Nutitelefonide väljundvõimsuse efektiivväärtuse sõltuvus koormusest.

Joonisel 3 on kujutatud katsetatud nutitelefonide väljundvõimsuse efektiivväärtuse sõltuvus koormusest. Katsetes kasutati ruutsignaali sagedusega 1 kHz. Graafikul ei ole kujutatud nutitelefonide HTC One (M7) tulemusi, kuna need on teiste omadest kordades suuremad, mille tõttu ei saa neid kogutud andmete näitlikustamiseks kasutada. Kõigi katsetatud nutitelefonide tulemused koos on toodud lisas 4. Jooniselt 3 võib näha, et olenevalt seadmest esineb väljundvõimsuse maksimum erineval koormusel. Väljundvõimsuse maksimaalsed efektiivväärtused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Testitud nutitelefonide maksimaalsed väljundvõimsuste efektiivväärtused.

Nutitelefon	Maksimaalne väljundvõimsus (mW)
Xiaomi Mi4	3,0
HTC One V	33,1
Motorola XT910	12,8
Samsung Note 2	29,5
HTC One (M7)	294,0

Lisaks täheldati eri nutiseadmete väljundpinge efektiivväärtuse sõltuvust kasutatava signaali sagedusest. See seos on toodud joonisel 4, millelt võib näha, et ka sagedusarakteristikud erinevad nutiseadmeti tunduvalt. Lähtudes levinuimast maksimumkohast valiti töös kasutatava toitesignaali sageduseks 3 kHz.



Joonis 4. Väljundpinge efektiivväärtuse sõltuvus sagedusest.

5.2.2 Trafo valik

Trafo on kahest poolist koosnev seade, kus rakendades ühele poolile vahelduvpinge indutseeritakse see ka teises. Pooli, millele pinget rakendatakse, nimetatakse primaar- ning teist sekundaarmähiseks. Muutes poolide keerdude arvu nii, et sekundaarmähises on rohkem keerde, indutseeritakse selles nii mitu korda suurem pinge kui on keerdude arvu suhe. Seda

suhet nimetatakse ka ülekandeguriks [16]. Kasutades kirjeldatud nähtust, saabki trafo abil tõsta nutiseadme helikanalist tuleva signaali pinget süsteemile vajaliku tasemeni.

Andmaks toidet edasi efektiivselt, peab trafo olema piisava induktiivsuse ja võimalikult madala sisetakistusega. Samas peab see olema võimalikult väikeste mõõtmetega, et säilitada variomeetri kasutusmugavus ja esteetiline ilme. Väikesest primaarmähise induktiivsusest tuleneb väike reaktiivtakistus. See omakorda tähendab suurt trafo südamiku magnetiseerimiseks vajaminevat tühijooksu voolu, mis ei kandu üle sekundaarmähisesse [16].

Töös testiti kaht turul saadaolevat piisava ülekandeguriga mikrotrafot: Wurth 74488540250 ja CJ5143-ALB. Mõlemad on sobivalt väikeses korpuses. Lisaks sarnanevad nende parameetrid taolistes lahendustes kasutatust leidnud trafo omadega [15]. Siiski, kumbki ei olnud piisavalt suure induktiivsusega, et saavutada antud töös rahuldava efektiivsusega võimsuse ülekannet. Seetõttu valmistati töö käigus 2 oma trafot: trafo 1 ja trafo 2. Nende kerimisel kasutati Ferroxcube EP7 südamikku, mille abil saavutati suurem induktiivsus. Erinevate trafode võrdlus on toodud tabelis 2. Katsetamise tulemusena selgus, et mõlema omatehtud trafo puhul oli seadme toitevajadus rahuldatud.

Tabel 2. Testitud transformaatorite võrdlus [17, 18].

	Wurth 74488540250	CJ5143-ALB	Trafo 1	Trafo 2
Primaarmähise induktiivsus [μH]	25	15	13800	3250
Primaarmähise takistus [Ω]	0,2	1	1	0,6
Primaarmähise keerdude arv	-	-	50	25
Sekundaarmähise keerdude arv	-	-	235	230
Ülekandegur	20	15	4,7	9,2

5.2.3 Pinge aldamine, silumine ja reguleerimine

Trafo väljundist saadav pinge on küll piisavalt kõrge, kuid endiselt vahelduva amplituudiga. Süsteemi toitmiseks tuleb see esmalt alaldada. Töös kasutati neljast diodist koosnevat täisperioodalaldit. Lahenduse jaoks valiti võimalikult madala päripingelanguga diodid DB2S316, vältimaks liigset pingelangu alaldil.

Järgnevalt tuli saadud vahelduvkomponendiga alalispinge siluda. Selleks kasutati kondensaatoreid mahutavusega 1 μ F ja 0,1 F. Viimase ebatavaliselt suur mahutavus tuleneb seadmespetsiifilistest nõuetest. Selle eesmärgiks on toimida energia reservuaarina ja tagada seadme toimimine hetkedel, kui nutiseadmest toitepinget ei saadeta. Pingetaset, milleni on kondensaator laetud, saab kasutada saadetava ja kasutatava võimsuse bilansi indikaatorina. Arvestades fakti, et peale trafo poolt pinge tõstmist võib selle väärtus olla suurem, kui kondensaatorite spetsifikatsioon lubab, siis on lisatud trafo väljundisse zeneri diod MM3Z4V7T1G läbilöögipingega 4,7 V. See takistab pingel liiga kõrgele tõusta.

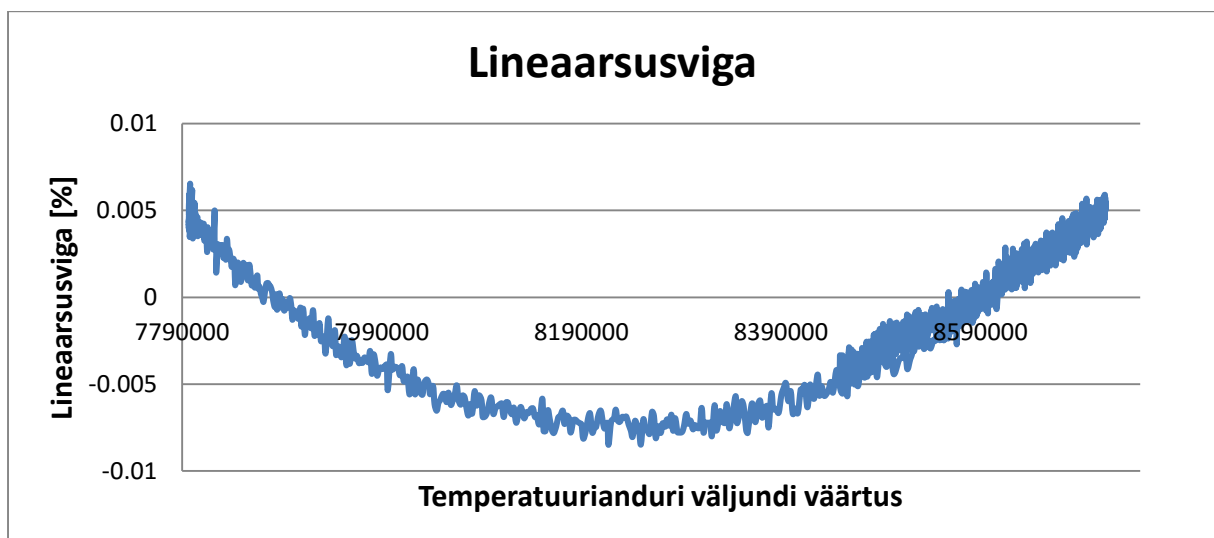
Saadetava helisignaali amplituud erineb nutiseadmeti, seega võib alaldatud ja silutud toitepinge olla seadme jaoks veel liiga kõrge. Pinge muundamiseks sobivale 1,8 V tasemele, kasutati lineaarset pingeregulaatorit XC6221B182MR.

5.3. Kõrguse mõõtmine

Hetkekõrguse hindamiseks saab kasutada anduriga mõõdetud õhurõhku. Mida kõrgemale tõusta, seda väiksemaks muutub sensori kohal olev õhusammas, mida on võimalik rõhuanduriga mõõta [8]. Õhurõhu kaudu oma kõrguse kindlaks tegemiseks saab kasutada valemit 5.1, kus P on mõõdetud õhurõhk paskalites ja h kõrgus merepinnast meetrites [19].

$$h = 4946,55 * (8,96196 - P^{0,190263}) \quad (5.1)$$

Leidub mitmeid füüsikalisi nähtusi, mis võimaldavad teisendada õhurõhku mõõdetavaks elektriliseks signaaliks. Kõigil töös testitud rõhuanduritel on sisemiseks sensoriks piezoelektriline element, milles sisalduvad kvartskristallid tekitavad rõhu toimel elektrilaengu. Seesuguseid andureid kasutatakse peamiselt suhtelise kõrguse määramiseks [20]. Variomeetri puhul ei ole absoluutne kõrgus ja selle täpsus oluline, mille tõttu sobib piezoelektrilise elemendiga andur lahenduseks hästi. Samas on taoliste rõhuandurite väljund esimeses lähenduses lineaarselt sõltuv temperatuurist. Nimetatud sõltuvuse leidmiseks viidi läbi katse, milles soojendati ning seejärel jahutati rõhuandurit. Katse lühiajalisuse tõttu võib lugeda tegeliku rõhu konstantseks. Tulemustest (joonis 5) lähtudes saadi teada, et saavutamaks temperatuurilist sõltumatust tuleb rõhulugemite kompenseerimiseks kasutada temperatuurianduri väljundit. Töös kasutati digitaalse väljundiga rõhuandureid, mis väljastavad tulemuse digitaalkujul.



Joonis 5. Lineaarsusvea sõltuvus temperatuurist.

Leidmaks sobivaimat, valiti töös testimiseks kolm erinevat turul olevat rõhuandurit, mille ühisteks kriteeriumiteks olid võimalikult madal hind, väikesed mõõtmed ja voolutarve. Esialgsesse valikusse kuulusid BMP280, mida kasutavad ka Apple telefonid, NPA-201, kus vastavalt spetsifikatsioonile rõhu temperatuurisõltuvuse kompensatsiooni tehakse automaatselt ning MS5637 [21].

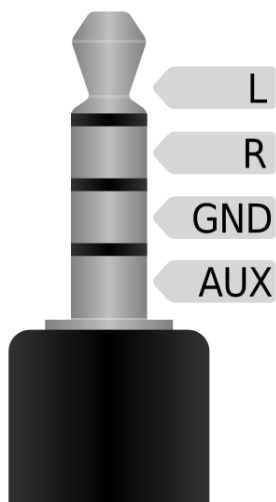
Valiku tegemise ajal oli andur NPA-201 veel uus toode ning hoolimata pingutustest ei suudetud selle anduriga suhtlust saavutada, mille põhjuseks olid puudulik andmeleht ja protokolli kirjeldus. BMP280 ja MS5637 olid igas aspektis võrdsed, aga lõpuks valiti MS5637 selle kergema kasutatavuse tõttu, mis tulenes lihtsamatest ja töökindlamatest kaasaantud kompensatsioonivalemitest.

5.4. Mikrokontroller

Rõhuanduri ja nutiseadmega suhtlemiseks kasutati Atmeli AVR arhitektuuriga mikrokontrollerit ATXmega8E5, mis valiti selle madala 1,8 V-se tööpinge ja tuttava arhitektuuri tõttu. Tegemist on 8-bitise protsessoriga. Sellesse on sisseehitatud I²C liides, suhtlemaks rõhuanduriga ning UART, mille abil saab saata mõõdetud väärtused nutiseadmesse. Lisaks on sellel analoog-digitaalmuundur, mille abil saab mõõta variomeetri toitepinget, et omada lisainformatsiooni seadme staatuse kohta [22].

5.5. Pulkpistiku liides

Töös kasutati neljakontaktilist pulkpistikut läbimõõduga 3,5 mm nagu on kujutatud joonisel 6.



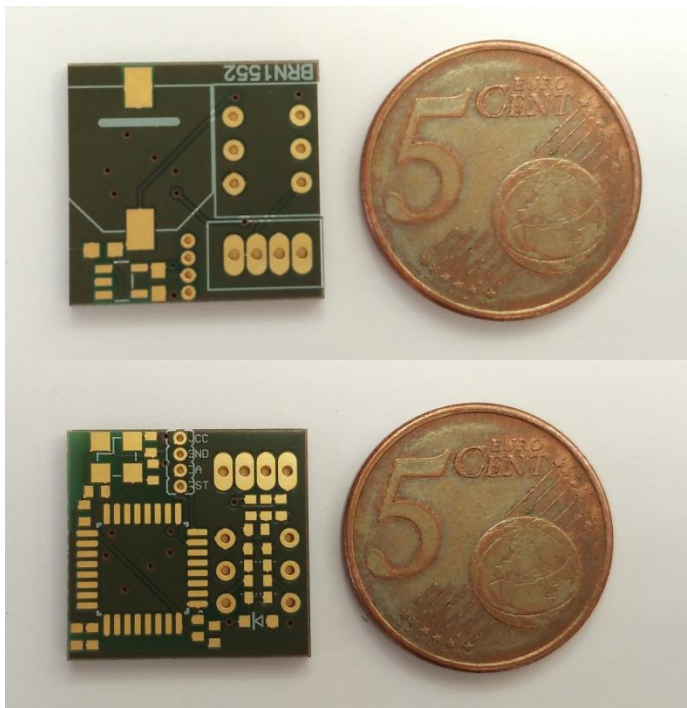
Antud pistikut kasutatakse tavaliselt kõrvaklappe ja mikrofoni sisaldavate peakomplektide ühendamiseks teiste seadmetega. Signaalide kirjeldused: L – vasak helikanal, R – parem helikanal, GND – maandus ja AUX – mikrofoni sisend. Leidub kaht sorti standardeid: AHJ ning OMTP, millel on võrreldes teineteisega maanduse ja mikrofoni kontaktid vahetuses. Toetamaks võimalikult paljusid erinevaid nutiseadmeid sobib töös välja arendatud lahendus mõlema standardiga [3]. Selleks on pistiku maandus lahti ühendatud seadme toitesüsteemi sisendist ning toitesignaali saadakse kahe kanali vahelt nagu on näidatud joonisel 2.

Joonis 6. AHJ pulkpistiku ehitus [24].

Suhtluseks nutiseadmega kasutatakse mikrofoni kanalit. Selleks, et tuvastataks ühendus, peab mikrofoni sisendi ja maanduse vahel olema vähemalt 1 k Ω suurune takistus [23]. Töös kasutati takistit suurusega 2 k Ω , et vältida soovimatuid valesignaale, mida võivad põhjustada väiksemad takistused, mis on kasutusel näiteks kõrvaklappide lugude kontrollimise nuppudes [25]. Töö käigus tuli välja, et osadele seadmetele ei pruugi sobida suuremad väärtused, sest näiteks telefon Xiaomi Mi4 ei tuvastanud mikrofoni, kui see takistus oli 2,2 k Ω . Lisaks on mikrofoni sisendiga jadamisi ühendatud kondensaator, mis on piisavalt väike, et takistada pikemaajalist alalispinge rakendamist nutiseadme helisüsteemile, kuid piisavalt suur, et mitte filtreerida selle kaudu saadetava suhtlusprotokolli signaali. Kasutatud suurus 10 μ F leiti katseliselt signaali jaoks sagedusega 3 kHz.

5.6. Trükkplaadi disain

Elektriskeem ja trükkplaat on disainitud rakendusega Eagle 7.1.0 ning on vastavalt toodud lisades 1 ja 2. Kasutatud on kahepoolset trükkplaati ning komponendid on samuti paigutatud mõlemale poolele, et säästa ruumi ning kokkuvõttes saavutada minimaalsed mõõtmed. Saavutatud tulemus on näha joonisel 7. Mikrokontrolleri programmeerimiseks on välja toodud vajalikud signaalid, kuid kuna tegemist ei ole standardse pistikuga, siis on uue programmi peale laadimiseks vajalik omaloodud adapter.



Joonis 7. Fotod välja töötatud trükkplaadist.

6. Püsivara

6.1. Ülevaade

Püsivara eesmärgiks on initsialiseerida kõik välised komponendid, vahendada infot rõhuandurist nutiseadmesse ning mõõta toitepinge suurust, mille järgi saaks otsustada, kas seade saab piisavalt toidet või mitte.

Raskendatud toitevõimaluste tõttu pöörati tähelepanu seadme võimalikult madalale võimsustarbele. Selle jaoks lülitati välja kõik moodulid kui neid parasjagu ei kasutata. Lisaks langetati protsessori taktsagedus 500 kHz peale, millest väiksemate väärtuste korral märkimisväärselt võitu seadme võimsustarbes ei saavutatud. Kogu elektroonika alamosa tarbib oma tööolekus keskmiselt 1.1 mA voolu 1.8 V pinge juures, millest enamuse võtab rõhuandur tarbides rõhu mõõtmise ajal 1.25 mA voolu ning seadme kasutamisel keskmiselt 1 mA [26].

6.2. Suhtlusliidesed

6.2.1 Suhtlus rõhuanduriga

Suhtlus rõhuanduriga toimub kasutades I²C liidest, millele vastav moodul on kasutatavas mikrokontrollerisse sisse ehitatud. I²C protokoll võimaldab kiirelt ja lihtsalt suhelda mitmete väliste komponentidega.

Variomeetri esialgsel käivitumisel ja rõhuanduri initsialiseerimisel loetakse viimase mälust sinna salvestatud kalibratsioonikonstandid, mida kasutatakse hiljem saadud rõhu väärtustest temperatuurisõltuvuse mahaarvutamisel.

6.2.2 Suhtlus nutiseadmega

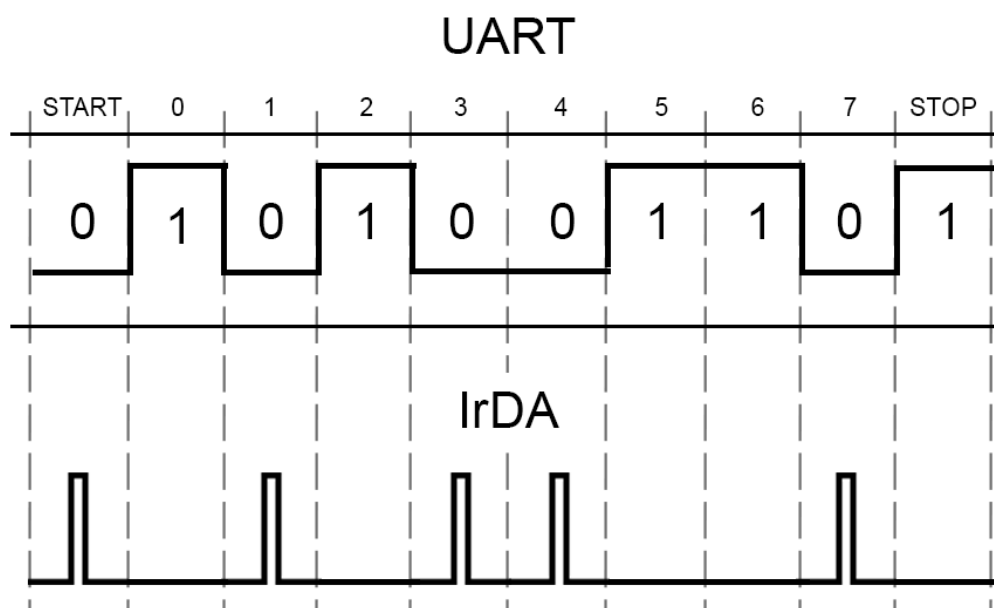
Variomeetrist nutiseadmesse andmete saatmiseks initsialiseeritakse mikrokontrolleri UART moodul. Nutiseadmete helisüsteemi erisuste tõttu kasutatakse sisseehitatud IrDA modulatsiooni, mille täpsem kirjeldus on peatükis 7.1. Rõhu väärtus edastatakse millibaarides.

7. Protokoll

Suhtlus nutiseadmega toimub läbi mikrofoni kanali. Selleks on ühendatud mikrokontrolleri UART mooduli saateväljund trükkplaadil oleva pulkpistiku mikrofoni kontaktiga. Töö käigus selgus, et tulenevalt nutiseadmete erinevast siseehitusest ei sobi tavaline UART jadaedastus andmevahetuseks variomeetri ja nutiseadme vahel. Peamiseks põhjuseks oli fakt, et erinevad nutiseadmed moonutasid vastuvõetavat signaali üksteisest väga erinevalt.

7.1. Saadetav signaal

Töös kasutati mikrokontrollerisse sisseehitatud IrDA modulatsiooni, mida iseloomustab joonis 8. IrDA modulatsiooni puhul asendatakse saatmisel madal bitt ehk loogiline null pingepulsiga, mille pikkus on 3/16 biti ajalisest kestvusest ning kõrge bitt pingemadala seisundiga [27]. Vastupidiselt konventsionaalsele UARTile on IrDaga moduleeritud signaal palju vähem tundlik erinevatele signaali moonutavatele faktoritele erinevate nutiseadmete helisüsteemides. See omakorda muudab ühtse ja laiapõhjalise lahenduse lihtsamaks.



Joonis 8. IrDA modulatsiooni võrdlus tavalise UART protokolliga.

7.2. Lugemite võtmine

Saadetava signaali lugemite võtmine toimub üldjuhul maksimaalse sagedusega 48kHz, mis tuleneb nutiseadmete helisüsteemi ehitusest ja operatsioonisüsteemi võimalustest. Kuigi töös testitud nutiseadmetes oli diskreetimissagedus kõigil sama, siis pole see garanteeritult kõigi

seadmete puhul nii. Antud diskreetimissagedus seab aga piirangud maksimaalsele protokollide edastamise kiirusele. Andmevahetuse kiiruseks valiti 3000 bitti sekundis, mis tagab piisava kiiruse andmete nõuetekohasel kiirusel uuendamiseks ning tagab hea töökindluse, kus ühe biti kohta saadakse signaali diskreetimisel 16 lugemist.

7.3. Signaali dekodeerimine

Signaali dekodeerimisel esinesid nutiseadmete erisusest tulenevad aspektid, millega tuli arvestada toimiva suhtlusliidese loomisel.

1. Erinevatest välisteguritest ja nutiseadme sisemisest ehitusest tulenev müra signaalis.
2. Osade nutiseadmete mikrofonide võimendi on inverteeriv, mistõttu paistab sama signaal neile teistsugune kui mitteinvertiivse võimendiga seadmetele. Sama efekt tekib OMTP standardit kasutavate nutiseadmete puhul.
3. Nutiseadmete mikrofonisensordite erinev tundlikkus, mis mõjutab loetava signaali amplituudi. Sellest tulenevalt võib esineda ka signaali küllastumist.
4. Seadme töötamisel võib esineda signaali nullnivoo nihkumist.
5. Nutiseadme protsessori võimekus. Töödeldavaid lugemeid võetakse võrdlemise kiiresti (48000 korda sekundis), mis tähendab, et toimiv lahendus peab töötama efektiivselt ja vähesel nõudlikkusega.

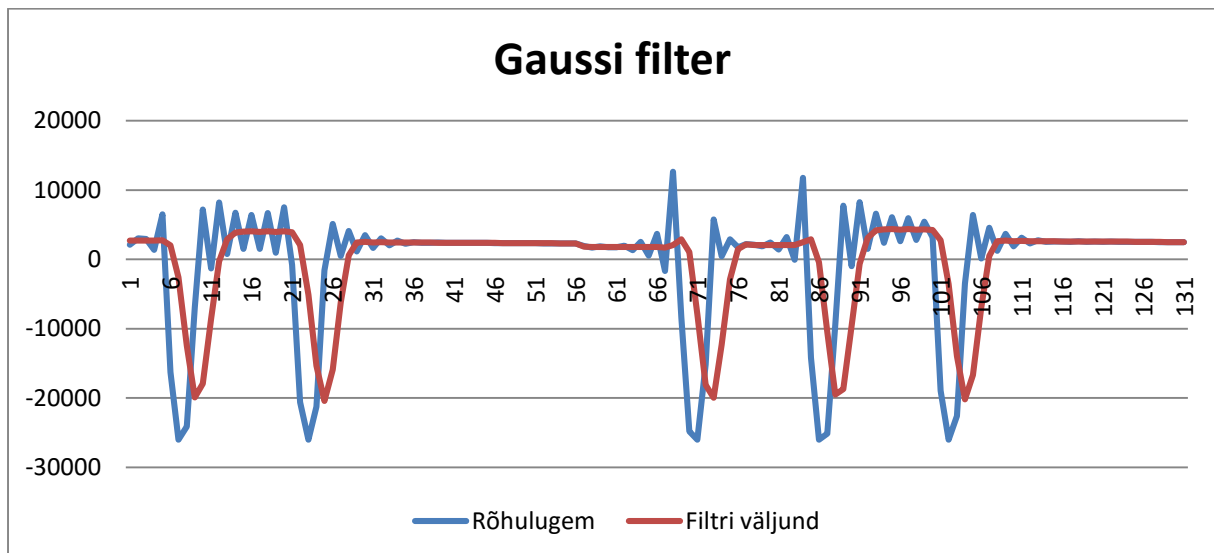
Arvestades eelnimetatud aspekte ja probleeme töötati välja toru põhimõttel toimiv lahendus, mis koosneb kolmest osast:

1. Lindistajast, mis küsib nutiseadme operatsioonisüsteemi käest mikrofonide poolt salvestatud lugemid.
2. Pulsidetektorist, mis võtab lindistajalt saadud lugemid ja filtreerib need müra vältimiseks. Lisaks kontrollitakse andmete lainekuju vastavust oodatava pulsi omaga ning antakse leitud ja ajastatud pulsid edasi järgmisele osale.
3. Baididekoodrist, mis leiab üles start- ja stop-bitid ning paneb ajastatud pulssidest kokku terviklikud baidid. Need antakse juba edasi andmetöötlusega tegelevale programmi osale.

7.3.1 Signaalitöötlus

Mikrofonide kanalist saadud lugemid on 16-bitise täpsusega, mille maksimaalne väärtus on 32767 ning minimaalne -32768. Vähendamaks müra vastuvõetud signaalis, kasutatakse

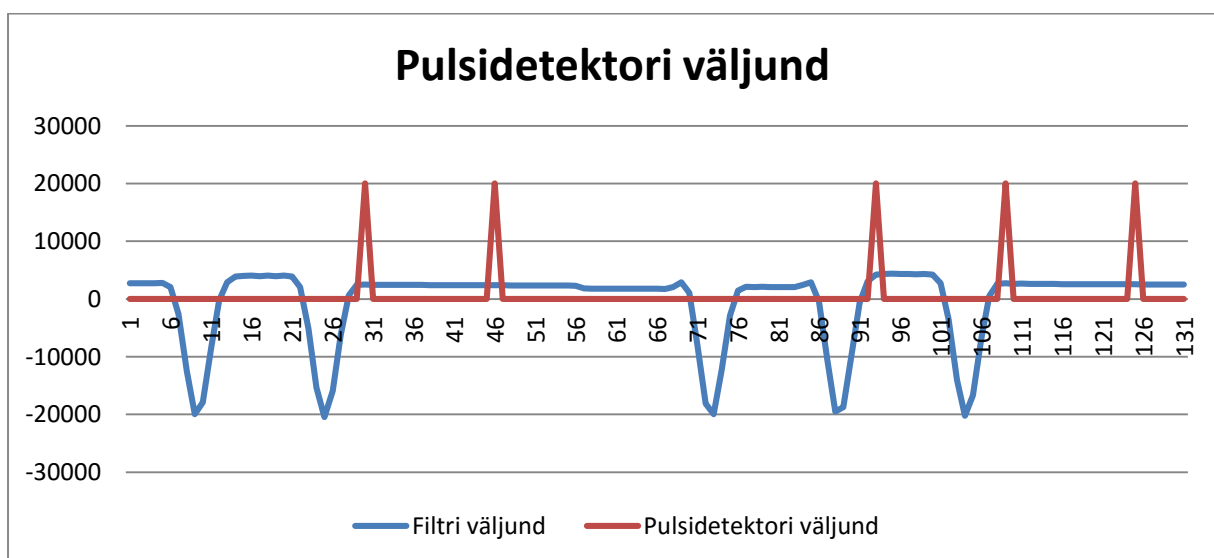
lindistajas kohe peale mikrofonist lugemite saamist sidumifiltrit (*convolution filter*), mille ülekandefunktsiooniks on Gaussi kõvera ehk normaaljaotuse lähendus viie koefitsendiga. Filtri töö tulemus on toodud joonisel 9, kust on muuhulgas näha ka olukord, kus signaal on nutitelefonis Xiaomi MI4 sisemise võimendi tõttu inverteeritud.



Joonis 9. Algse sisendsignaali ja filtreeritud signaali võrdlus.

7.3.2 Pulsi detekteerimine

Pulsidetektoris jaotatakse lugemid kolme ossa – madalad, ehk allpool seatud lävendit, kõrged, ehk ülalpool seda ning keskmised, mis ei kuulu kummasegi. Saades mingi järjestuse klassifitseeritud sisendeid võrreldakse neid maskiga, saamaks teada, kas tegu on pulsiga või mitte.

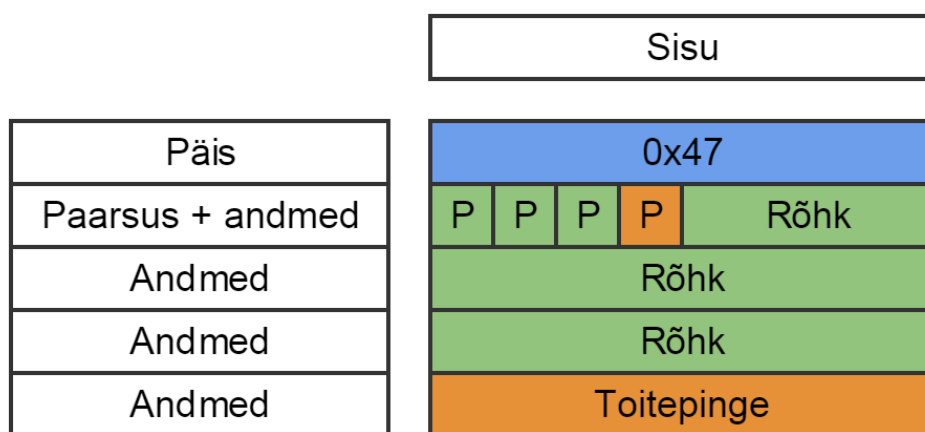


Joonis 10. Pulsidetektori loogiline väljund ning filtreeritud mikrofoni lugem.

Näidet pulsi detekteerimisest võib näha joonisel 10, kus on toodud filtreeritud sisendandmed ning pulsidetektori loogiline väljund, mis on loetavuse huvides skaleeritud graafikul kujutamiseks suuremaks. Lisaks tuleb välja, et nihe reaalse pulsi ja detekteeritud pulsi vahel on kokku 23 lugemit, millest 3 on põhjustatud andmete esmasest filtreerimisest ning 20 pulsi detekteerimisest. See teeb protokollis ajaliseks mahajäämuseks 48 kHz diskreetimissageduse korral 0,48 ms.

Nutiseadmete spetsiifikast ja omavahelistest erinevustest tuleneb mitmeid probleeme, millega toimiv lahendus hakkama peab saama. Esiteks pole mikrofoni tundlikkus nutiseadmeti sama. Sellest tuleneb olukord, kus võrdse amplituudiga pulss paistab nutiseadmetes erinev. Probleemi lahendamiseks seatakse pulse klassifitseeriv lävend võrdseks 20 protsendiga viimase 6000 lugemi vaheliste muutuste maksimumist. Nii on igal seadmel oma mikrofoni tundlikkusele vastav võrdlusnivoo. Lahendamaks probleemi, kus terve signaal „ujub“ ehk selle nullnivoo väärtus terves ulatuses tõuseb või langeb, kasutatakse muutuse arvutamiseks lokaalset keskmist üle 14 viimase lugemi. Osades nutiseadmetes on mikrofoni sisend inverteeritud. See põhjustab neis ülejäänutega võrreldes vastupidise signaali. Probleemi lahendamiseks aktsepteeritakse korraga nii positiivset kui ka negatiivset pulssi. Teades ühe pulsi pikkust on selle detekteerimine ümberpööratud kahe pulsi vahena välistatud.

7.4. Paketi struktuur



Joonis 11. Paketi struktuur

Nutiseadmele antakse edasi rõhuanduri lugem ning analoog-digitaalmuunduri poolt mõõdetud väärtus pingeregulaatori sisendpingelt. Andmete edastamiseks kasutatakse joonisel 11 näidatud paketistruktuuri. Esimene bait on päis, mille väärtus on alati

kuueteistkümnendsüsteemis 47 ja mida kasutatakse paketi alguse tuvastamiseks. Järgmises baidis on 4 esimest bitti paarsusbitid, mis näitavad, kas vastavates baitides on loogilisi ühtesid paaris või paaritu arv. Esimesed kolm paarsusbitti käivad rõhulugemi ning neljas toitepinge kohta. Sama baidi 4 järgmist bitti on temperatuuri kompensatsiooni läbinud ning millibaaridesse arvutatud 20-bitine rõhulugemi ülemised bitid. Järgmised kaks baiti sisaldavad järjestatult ülejäänud osa rõhulugemist. Viimane bait on 8-bitine toitepinge lugem.

Paketis sisalduvaid paarsusbitte kasutatakse vea tuvastamiseks andmete vastuvõtmisel. Juhul kui andmetesse on tekkinud viga, näiteks mõni bitt on saatmise käigus muutunud vastupidiseks või seda bitti esitanud pulssi ei suudeta tuvastada, siis saatmisel arvutatud paarsus ja kohale jõudnud andmebaidi paarsus on erinev ning viga on tuvastatud. Vigaseid pakette ignoreeritakse ning nende andmeid ei kasutata.

8. Android operatsioonisüsteemi jaoks loodud rakendus

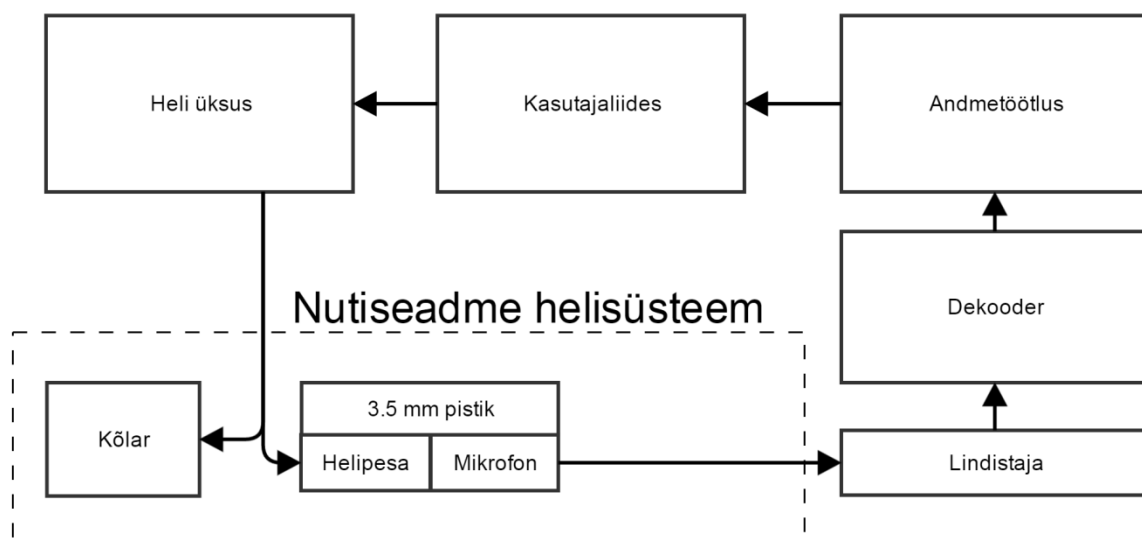
8.1. Ülevaade

Androidi operatsioonisüsteemiga seadmetele mõeldud rakenduse eesmärgid on

1. edastada seadmele võimalikult hästi sobiv toitesignaal;
2. lugeda mikrofoni kanali kaudu saadetud andmed sisse ning need dekodeerida;
3. arvutada rõhuandmetest kõrgus ning selle muutumiskiirus;
4. kuvada kõrgusandmed visuaalselt;
5. mängida heli vastavalt seadistatud kõrgusemuutustele.

Nõuetele vastava ja variomeetri kasutamiseks mõeldud rakendus loodi kasutades Android Studio IDE, mis põhineb IntelliJ IDEA-l. Android Studio hõlmab endas kõik, mida ühe Androidi rakenduse loomiseks vaja, võimaldades programmi silumist töötamise ajal ning nutiseadme eri osade nagu mälu või protsessori koormuse jälgimist [28].

Loodud rakenduse programmi üldine ülesehitus on toodud joonisel 12. Iga ristkülik tähistab iseseisvat üksust või nende kogumit ja nooled näitavad andmete liikumise suunda. Andmeteks on mängitavad helimassiivid, mikrofoni lugemid ning dekodeeritud paketid.



Joonis 12. Androidi rakenduse üldine ülesehitus.

Rakenduse koodi täpsem implementatsioon lähtub *actor*-mudelist, mis aitab lahendada mitmelõimelisusest tulenevaid probleeme. Selles käsitletakse igat üksust eraldi ning käivitatakse omaette lõimena. Igal *actor*'il on oma sõnuminimekiri, kuhu teistes lõimedes töötavad üksused saavad lisada ülesandeid, millele siis konkreetne *actor* reageerib ning need omas lõimes täidab. Antud mudel aitab vältida andmekonkurentsi, kus ühiste andmete töötlemisel asünkroonselt tekib mittedeterministlik tulem. Lisaks on välistatud ummikseis, mis võib tekkida lõimede lukkude kasutamisel. [29].

8.2. Seadme toitesignaali genereerimine

Variomeetri toitmiseks tuleb heliväljundi kaudu saata toitesignaal. Töös seati maksimaalse võimsusülekanne saavutamiseks signaali amplituud nii kõrgeks kui võimalik. Esiteks seatakse rakenduse käivitamisel nutiseadme helivaljus maksimaalsele väärtusele. Lisaks saadetakse signaal kahe kanali vahele vastasfaasis. See tähendab, et väljundi amplituud on kaks korda suurem kui kummagi kanali oma eraldi.

8.3. Andmetöötlus

Andmeid töötlev osa programmist saab sisendina mikrofoni dekodeeritud baidid ning seob need ühtseks paketiks. Järgnevalt kontrollitakse paarsusega andmete terviklikkust ning selle õnnestumisel loetakse paketist välja toorandmed rõhu ja seadme toitepinge kohta. Rõhu andmeid kasutatakse kahel otstarbel: kasutajale tema hetkekõrguse kuvamiseks ning vertikaalse kiiruse arvutamiseks. Toitepinge väärtus on esitatud 8-bitise märgita täisarvuna, mille väärtus on 0 kuni 255. Seda kasutatakse variomeetri staatuse hindamisel. Lisaks kuvatakse kasutajale arvutatud toitepinge väärtus voltides.

Rõhulugem on aluseks vertikaalse kiiruse arvutamisel, mis on teostatud kasutades lineaarregressiooni meetodit aja järgi. Lineaarregressioon modelleerib seost sõltuva ja kirjeldava muutuja vahel. Selleks leitakse nendevahelisele seosele kõige paremini vastava lineaarfunktsiooni $f(x) = Ax + B$, kordajad A ja B [30]. Sõltuvaks muutujaks on rõhk ning kirjeldavaks aeg. Antud juhul on vajalik ainult A väärtus, mis kirjeldab kiirust, millega rõhk ajas muutub. Töös kasutati regressioonisirge konstandi A leidmiseks valemit 8.1, kus $n = 30$, x tähistab aega ja y mõõdetud rõhku [31].

$$A = \frac{(\sum x)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (8.1)$$

Rõhulugemit, mida kasutatakse kasutajale tema suhtelise kõrguse kuvamiseks filtreeritakse 1. järku IIR filtriga, milles väljund on 1/8 osa hetkesisendist ning 7/8 osa eelmist väljundit. See tagab väiksema müra kuvatavas väärtuses, mis omakorda muudab väärtuse loetavamaks.

8.4. Kasutajaliides

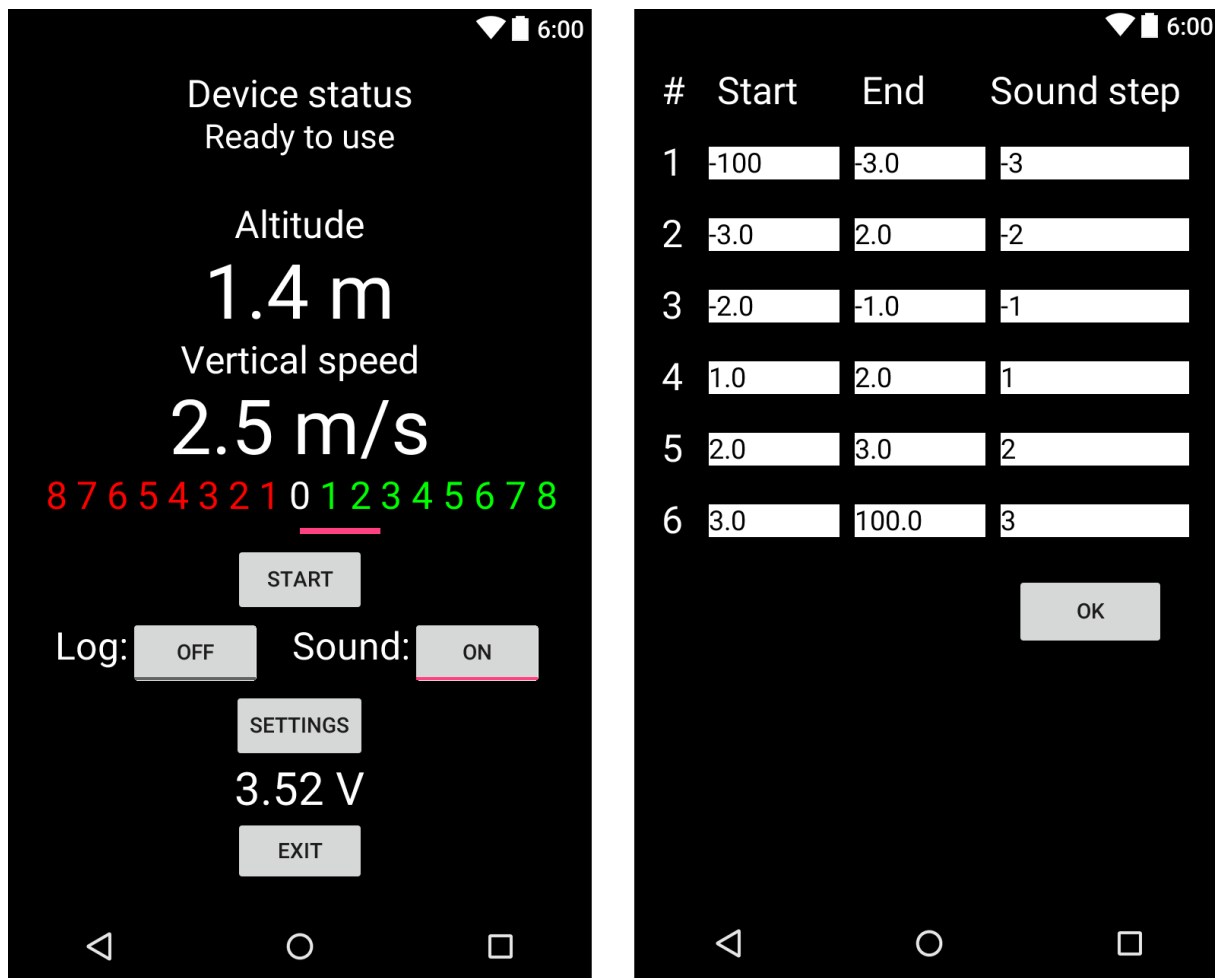
Rakenduse kasutajaliides koosneb kahest põhilisest komponendist: visuaalsest kuvast ja helimärguannetest. Kuvatav osa annab kasutajale täpsustavat lisainformatsiooni nii lennu kulgemise kui ka variomeetri staatuse kohta. Helimärguanded peavad olema aga piisavalt informatiivsed, et vastavalt nõuetele saaks lendur kasutada variomeetrit nutiseadme ekraani vaatamata.

8.4.1 Visuaalne kuva

Kasutajale kuvatakse kogu seadme kasutamiseks vajaolev info visuaalselt nagu näidatud joonisel 13. Rakendusel on erinevad võimalikud seisundid („*Device status*“), mida kuvatakse kasutajaliidese ülaservas.

1. „*No device detected*“ – seadet ei ole tuvastatud ehk nutiseade ei detekteeri, et midagi oleks helipessasse ühendatud.
2. „*No data connection*“ – programm tuvastab, et helipessa on midagi ühendatud, kuid sellega ei õnnestu luua andmevahetusühendust.
3. „*Voltage too low*“ – seade on tuvastatud ja andmevahetus toimib, aga variomeetri toitesüsteemi kondensaator ei ole veel piisavalt täis laetud, et seade töötaks usaldusväärselt.
4. „*Calibrating signal delay*“ – sellesse olekusse läheb rakendus esmakäivitamisel peale paigaldamist. Programm loeb saadetava toitepinge väärtust ning vastavalt sellele reguleerib minimaalse vahe, mida kahe helimärguande vahele jätta saab. Peale esmakordset kalibreerimist salvestatakse väärtus faili ning seda rohkem enam tegema ei pea.
5. „*Ready to use*“ – seade on töövalmis.

Lisaks näidatakse kasutajale numbriliselt tema suhtelist kõrgust stardihetkest ning hetke tõusu kiirust vastavalt meetrites ning meetrit sekundis. Peale numbrilise kuva on olemas ka visuaalselt hinnatav indikaator, mis annab kiirema aimduse tõusu või languse kiirusest. Skaala on samuti meetrit sekundis. Ekraani allosas näeb ka variomeetri kondensaatorile kogunenud pinget, mis annab lisainformatsiooni seadme seisundi kohta.



Joonis 13. Kasutajaliidese ülesehitus ning seaded.

Kasutajaliides sisaldab endas nuppe, millega kontrollida rakenduse tööd.

- *START* – seab algkõrguseks hetkekõrguse
- *Log (on / off)* – sisselülitamisel loob nutiseadme mällu uue logifaili nimega kujul: HH:mm-dd.MM.yyyy.txt, kus „HH“ tähistab kellaaega tundides 24 tunni formaadis, „mm“ minuteid, „dd“ kuupäeva, „MM“ kuud ja „yyyy“ aastat. See aitab hiljem logifaile ajastada ning üksteisest eristada. Peale faili loomist alustab nutiseade logimist kirjutades sinna 5 korda sekundis ajahetke millisekundi täpsusega, suhtelise kõrguse, tõusu või languse kiiruse, seadme toitepinge ning GPSi info, mis sisaldab asukohta ning GPSi poolt leitud kõrgust. Logifailid on olulise tähtsusega nii arendajale seadme esialgsel testimisel kui kasutajale oma lennu järelhindamisel või info talletamisel.
- *Sound (on / off)* – seab, kas helimärguandeid mängitakse või mitte.
- *Settings* – liigub rakenduse seadetes, kus saab seostada omavahel vertikaalse kiiruse tsooni ja helimärguande toonid.

- *Exit* – peatab rakenduse töö. Üldjuhul seesuguse nupu jaoks vajadust ei ole, aga antud rakenduse puhul on oluline, et seade lõpetaks helipessa signaali mängimise, mis vastasel juhul hakkaks rakenduse mitte kasutamisel asjatult nutiseadme akut tühjendama.

8.4.2 Helimärguanded

Selleks, et lendur saaks teada oma kõrguse muutumisest ekraani jälgimata, kasutati helimärguandeid. Arvestades asjaolu, et korraga saab nutiseadmes mängida heli ainult kas kõrvaklapi väljundisse või kõlarisse, siis tuleb nende kahe vahel pidevalt vahetada. Variomeetris olev kondensaator lubab jätta seadme mõneks ajaks toiteta, et mängida samal ajal helimärguandeid, kuid võimalikult kiiresti tuleb taastada toitesignaali saatmine. Erinevates katsetatud nutiseadmetes kulus kahe väljundi vahel vahetamisele 200 kuni 500 millisekundit, mille ajal ei mängitud signaali kummastki kanalist. Eelnevast lähtudes ei ole võimalik antud disaini puhul anda lendurile tavaliselt kasutatavaid helimärguandeid, kus mängitakse lühikesi piikse, mille esitamise vahe muutub vastavalt tõusu või languse kiirusele.

Töös kasutati helimärguandeid, mida esitatakse harvem, aga annavad rohkem informatsiooni tõusu või languse kiiruse kohta. Selleks loodi helisignaali, mis koosneb kolmest üksteisele järgnevalt esitatud osast: baastoon, mis on alati sama ning kaks järeldooni. Baastooniks valiti 1760 Hz, kuna tulenevalt telefoni kõlari ehitusest on seda paremini kuulda kui madalamaid toone olles samal ajal piisavalt madal, et mitte kõlaliselt häirida. Juhul, kui lendur parasjagu tõuseb on esimene lisatoon baastoonist mingi hulga pooltoone kõrgem ning teine veel sellest omakorda kõrgem. Langemisel kehtib vastupidine olukord, kus lisatoonid on järjest madalamad. Pooltoonide hulk, mille võrra lisatoonid baastoonist erinevad sõltub vertikaalsest kiirusest. See seos on kasutaja poolt seadete paneelis konfigureeritav.

Seadetes (joonis 13) saab määrata vertikaalse kiiruse vahemikele vastavad helimärguanded. Kokku on võimalik 6 erinevat tooni. Igale algusele ja lõpule vastavad suurused ühikutes meetrit sekundis asuvad vastavalt esimeses ja teises tulbas. Kolmandasse lahtrisse saab kirjutada pooltoonide arvu, mille võrra on iga vahetoon eelmisest kõrgem või madalam. Negatiivne väärtus tähistab heli sageduse madaldamist ning positiivne selle tõstmist.

Kokkuvõte

Tänapäeval on järjest populaarsemaks saamas hobilendamine, kus kasutatakse lihtsaid õhusõidukeid, millel puuduvad sisseehitatud vahendid lennu jälgimiseks. Samas tuleb lendamisel seda ikkagi teha, kasutades mõõteseadmeid. Üks tähtsaim neist on variomeeter, mis näitab lendurile tema vertikaalset kiirust [8].

Töö eesmärgiks oli välja töötada variomeeter, mida saaks kasutada hobilendudel nutiseadme lisana. Arvestades, et tänapäeva nutiseadmete laia levikut, lubab variomeetri arendamine lisaseadmena kokku hoida tootekulusid võrreldes täismahulise versiooniga. See omakorda langetab lõpptoote hinda. Lisaks suureneb kordades väiksematest mõõtmetest tingitud kasutusmugavus võrreldes turul saadaolevate variomeetritega. Saavutamaks võimalikult laia ühilduvust nutiseadmetega peab variomeeter ühenduma võimalikult universaalse ühendusega. Antud töös valiti selleks nutiseadme helipesa.

Töö tulemusena loodi

- nõuetele vastav elektroonika,
- variomeetri kasutamiseks vajalik püsi- ja tarkvara,
- seadme esialgne korpus.

Töö viidi läbi poole aasta jooksul ning selle käigus töötati välja esimene testimisele kuuluv lahendus, mis vastab kõigile esitatud nõuetele. Töös kasutati uudset viisi ühendamaks lisaseadet nutitelefoni või tahvelarvutiga läbi helipesa. Loodud ühendus võimaldab toitepinge edastamise ja ühepoolse suhtluse.

Töö välja arendatud variomeetri täiustamiseks jätkub kui seade läbib esimesed reaalsed lennukatsed. Saadud tulemuste põhjal on võimalik parandada avastatud vead ning teha vajalikud muudatused.

Summary

Nowadays, hobby flying is getting more and more popular. The aircrafts used are simple and miss built-in measurement devices, which are crucial for a flight. Therefore, pilots must bring their own. One of the most important of those devices is variometer which lets the pilot know of his or her vertical speed [8].

The purpose of this work was to design a variometer that could be used in hobby flights as an external device for smartphones and tablets. As smartphones have gained large popularity then developing variometer as a small external device helps saving costs on production compared to a version including all needed parts. This also lowers the price of the final product. Additionally, it increases the ease of use by being smaller and causing less discomfort. For connection, 3,5 mm audio jack was used to gain widest possible compatibility among smart devices.

As a result of this work electronics and case were designed in compliance with the requirements and also required firmware and software was written.

Work was conducted during 6 months during which first fully functional device was developed. The connection via audio jack was used which enables the transmission of power and one-sided communication. Work on the device continues after first flight tests. After that it is possible to fix discovered faults and make necessary changes.

Kasutatud materjalid

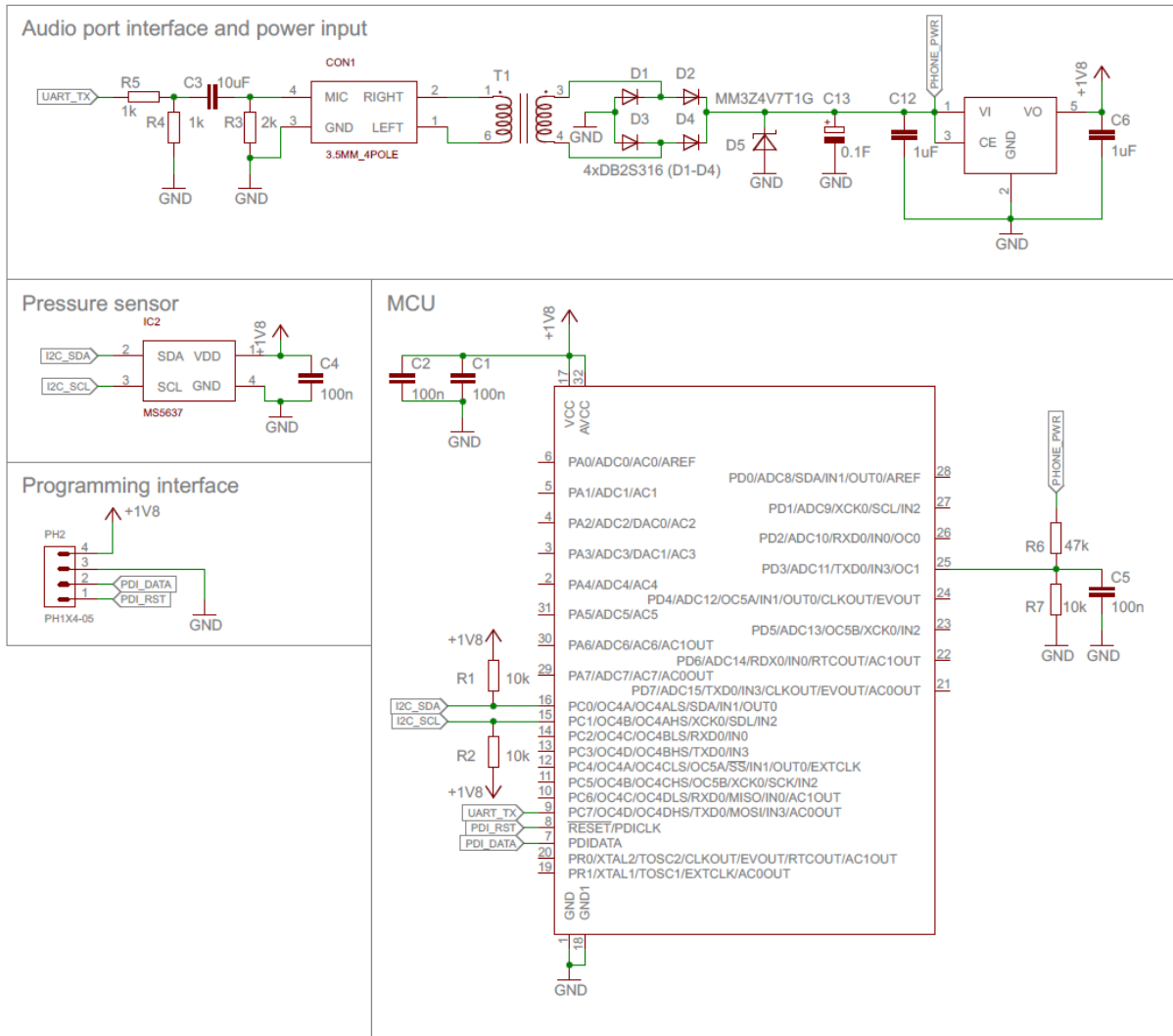
1. Common European Research Classification Scheme (CERCS) Teadusvaldkondade ja -erialade klassifikaator [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 27.mai 2016]
<https://www.etis.ee/Portal/Classifiers/Details/d3717f7b-bec8-4cd9-8ea4-c89cd56ca46e>
2. Vallaste e-teatmik [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 24.märts 2016]
<http://www.vallaste.ee/>
3. Jays AB headset for Windows Phone and a note on headset standards *Rafe Blandford* [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016]
http://allaboutwindowsphone.com/flow/item/17561_Jays_AB_headset_for_Windows_Ph.php
4. Semitones (Half Steps) *Victoria Williams* [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016]
<http://www.mymusictheory.com/learn-music-theory/for-students/grade-1/grade-1-course/111-10-tones-a-semitones>
5. IIR Filter Basics [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 16.mai 2016]
<http://dspguru.com/dsp/faqs/iir/basics>
6. Mootorita õhusõidukid, *Peep Lauk*, [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 16.märts 2016]
<http://www.eava.ee/opiobjektid/ebatraditsioonilised/2/index.html>
7. Eesti Lennuspori Föderatsioon [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 16.märts 2016]
<http://www.lennusport.org/spordialad/tiib-ja-motovari>
8. Glider Flying Handbook, *Federal Aviation Administration*, [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 16.märts 2016]
https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aircraft/glider_handbook/media/faa-h-8083-13a.pdf
9. Reviews alti-vario-gps, *Paratroc*, [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 16.märts 2016]
<http://www.paratroc.com/en/content/30-comparison-alti-vario-gps-paragliding-paratroc>
10. FlyNet [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 24.märts 2016] <http://www.flynet-vario.com/eng/product/index>
11. FlyTec [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 24.märts 2016]
<http://www.flytec.com/Products/varios.htm>
12. BlueFlyVario [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 24.märts 2016]
<http://www.blueflyvario.com/index.php>

13. Windoo [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016] <http://windoo.ch/welcome>
14. Pressy [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016] <http://get.pressybutton.com>
15. Hijacking Power and Bandwidth from the Mobile Phone's Audio Interface
Ye-Sheng Kuo, Thomas Schmid, Prabal Dutta
<https://web.eecs.umich.edu/~prabal/pubs/papers/kuo10hijack.pdf>
16. Mutual Inductance and Basic Operation [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 11.mai 2016]
<http://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-9/mutual-inductance-and-basic-operation/>
17. Würth 74488540250 andmeleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016]
<http://katalog.we-online.com/pbs/datasheet/74488540250.pdf>
18. CJ5143-ALB andmeleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016]
<http://www.coilcraft.com/pdfs/cj5143.pdf>
19. Altitude above Sea Level and Air Pressure [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 9.aprill 2016]
http://www.engineeringtoolbox.com/air-altitude-pressure-d_462.html
20. Fundamentals of Pressure Sensor Technology, *Robert E. Bicking* [Võrgumaterjal]
[Vaadatud: 9.aprill 2016] <http://www.sensorsmag.com/sensors/pressure/fundamentals-pressure-sensor-technology-846>
21. NPA-201 andmeleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 9.aprill 2016] <http://www.amphenol-sensors.com/en/products/pressure-mems/mems-sensors/3236-npa-201#features>
22. Atxmega8E5 andmeleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 9.aprill 2016]
http://www.atmel.com/Images/Atmel-42005-8-and-16-bit-AVR-Microcontrollers-XMEGA-E_Manual.pdf
23. Wired Audio Headset Specification [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 18.mai 2016]
<https://source.android.com/devices/accessories/headset/specification.html>
24. Pulkpistiku pilt [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3.5mm_jack_plug_4.svg
25. Nexus One headset controls [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 11.aprill 2016]
<http://dsynflo.blogspot.com.ee/2011/01/nexus-one-headset-controls-issue.html>
26. Linear Regression [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016]
<http://www.stat.yale.edu/Courses/1997-98/101/linreg.htm>
27. Introduction to IrDA, *Vladimir Myslik* [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 14.aprill 2016]
<http://hw-server.com/introduction-irda>
28. Android Studio Overview [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 15.aprill 2016]
<http://developer.android.com/tools/studio/index.html>

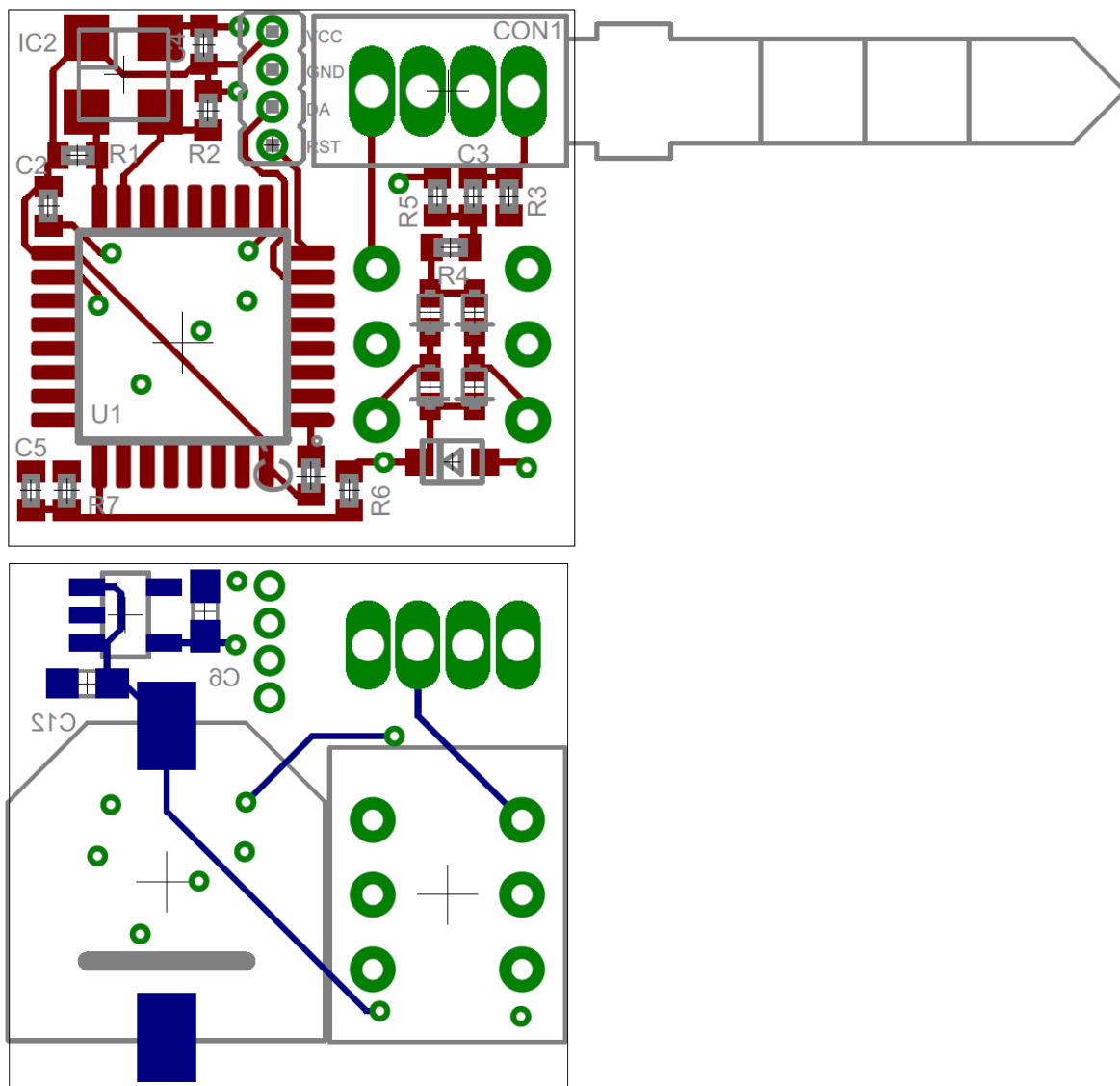
29. Why has the actor model not succeeded?, *Paul Mackay* [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 15.aprill 2016] http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_97/journal/vol2/pjm2/
30. MS5637 andmeleht [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 9.aprill 2016] <http://www.meas-spec.com/downloads/MS5637-02BA03.pdf>
31. How to find linear regression equation [Võrgumaterjal] [Vaadatud: 17.aprill 2016] <http://www.statisticshowto.com/how-to-find-a-linear-regression-equation/>

9. Lisad

Lisa 1 – Elektriskeem



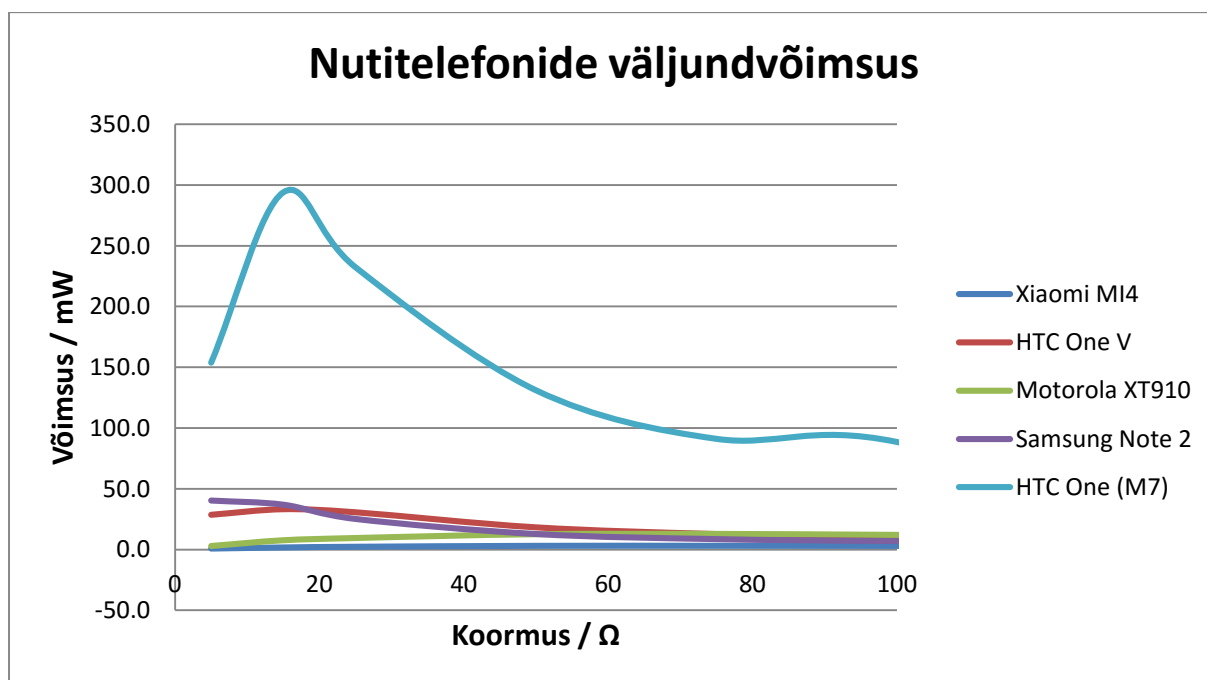
Lisa 2 – Trükkplaadi disain



Lisa 3 – Katsetatud nutitelefonide tabel

Nimetus	Xiaomi Mi4	Samsung Note 2	Motorola XT 910	HTC One V	HTC One (M7)
Väljalaske aeg	2014 august	2012 september	2011 november	2012 aprill	2013 märts
Androidi versioon	6.0.1	4.4.2	4.1.2	4.1	5.0
CPU	Quad-core 2.5 GHz Krait 400	Quad-core 1.6 GHz Cortex-A9	Dual-core 1.2 GHz Cortex-A9	1.0 GHz Scorpion	Quad-core 1.7 GHz Krait 300

Lisa 4 – Nutitelefonide väljundvõimsuse sõltuvus koormusest



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Taavi Adamson,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „NUTISEADME
HELIPESSA ÜHENDUV VARIOMEETER“, mille juhendaja on Artur Abels,

1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas
digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas
digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **18.05.2016**